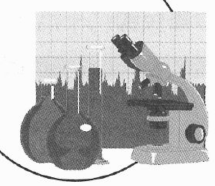


空間分析之應用與方法

◎農試所農化系　鄭智馨

一、空間分析之應用

當我們需要研究空間區域時，一開始常碰到的問題常是該如何對研究區域進行採樣，或是採樣時需要採多少樣本才能合理代表該研究區域等問題，而在研究之後又會碰上該如何去解決手邊一大堆錯綜複雜資料的難題，當然可藉由試驗設計計算方式來解決樣點與樣點的關係，不過單單使用試驗設計，並不能夠去解決每個方面的問題，例如採樣設計與空間分佈等問題。因此我們需要另外的方法來解決空間中的試驗資料，這樣的方法即所謂的空間分析(Spatial analysis)方法，影響空間資料的差異即爲空間變異(Spatial variability)，空間分析便是用來描述空間變異的技術。

使用空間分析方法能夠幫助我們解決的問題有兩方面，第一，對採樣品質的探討，這包括有合理推算採樣樣本數之大小與描述樣點與樣點的空間結構關係，樣本數的不足會導致實驗沒有代表性，而失去實驗價值，過多的樣本相對的會提高成本，也會失去經濟價值。因此，空間分析可計算樣點與樣點間的空間結構關係，提出合理的採樣方式與適當的樣本數目。第二，可利用已知採樣點的資料對未知採樣點作合理的推估，進而找出研究區域的空間分佈，而對研究區域進行評估與規劃。應用空間分析的方法，它不僅可求得對未知樣點的推估值，也可經其相對應變異值的大小，來反應未知樣點的推估值是否能合理被接受。

現今科學家應用空間分析方法解決的問題包括了有下面幾個方面：

㈠自然資源分析方面：例如地理學者應用了空間分佈理論進行礦產、石油分佈探勘調查，並且用以評估礦產或油田的價值。土壤學者則應用空間分析於土壤中的物理、化學與各種養分成分分析等，並且將研究資料應用在土壤品質管理與決策上。

㈡污染問題分析方面：環境學者應用空間分析於訂定空氣、水質與土壤的污染範圍，並當成環境影響評估與環境規劃之參考。

㈢災害分析方面：地震發生時也可藉由分佈各處的地震儀量測得到的資料繪出整個區域中的地震強度分佈。植物學者

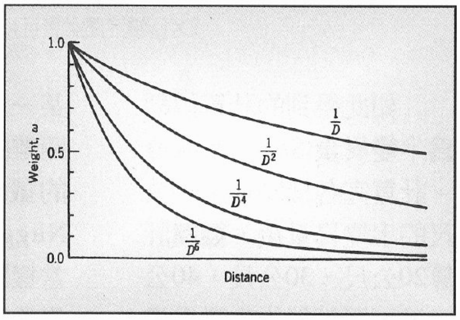
可用以作病蟲害分佈分析等。

隨著衛星影像與航空照相的出現，地理資訊系統(Geographic information system)與全球定位系統(Global position system)技術的更上層樓，相對的，在得到空間中樣點資料的資訊，也因而變成了十分容易，而且其得到的資料量也相對的精確與增加。因此在作空間分析時如何從這些已知資料中，轉換成可使用的空間分析結構資料，或是經過空間分析計算後的資料轉換給地理資訊系統使用，變成了相當的重要。這樣的發展也對空間分析領域上的發展，造成了更加的重要。

二、空間分析方法

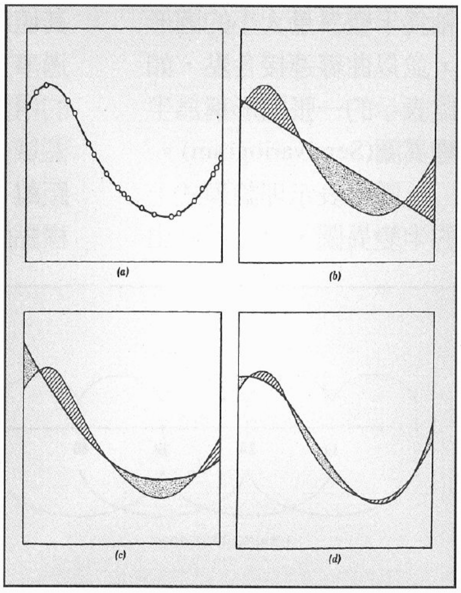
在發展空間分析過程中，有幾個方法比較常用到，包括有㈠反距離權重方程式法(Inverse distance-powered functions)，㈡趨勢面分析法(Trend surface analysis)，㈢地理統計法(Geostatistics)等。其個別作法如下，我們僅針對地理統計法作詳細介紹。

反距離權重方程式法，乃根據推估樣點與已知採樣點的距離關係而給予相反的權重大小，其權重大小可由一次、二次至多次不等方程式求得，乃可根據研究樣區與樣點特性決定。圖一表示反距離權重方程式法隨選用方程式的不同而對應的權重值，其權重會隨方程式項次的增大，使得距離對未知樣點的影響能力愈小。推估未知樣點時，其已知樣點的推估權重總和必須等於1（圖一）。



圖一、選用不同反距離權重方程式得到的推估權重

趨勢面分析法乃利用地理座標(Geographic coordinates)與樣點關係，導出適當多項式，多項式的數值變化趨勢稱爲區域自然變化(Regional nature)，多項式與樣點之差爲小區域擾動(Local fluctuations)。圖二表示利用不同多項式對於樣點的推估，(a)原來樣點的分佈，(b)一次多項式的推估，(c)拋物線多項式的推估，(d)立方多項式的推估。在此可清楚看出多項式的變化趨勢爲區域自然變化，陰影部分爲小區域擾動，斜線部分爲過多的推估，點狀部分爲過少的推估。多項式的決定，同樣根據研究樣區與樣點特性來決定(圖二)。



圖二、應用趨勢面推估法對樣點的推估，(a)實際值，(b)直線推估，(c)拋物線推估與(d)多項式推估

三、地理統計法——以土壤調查為例子

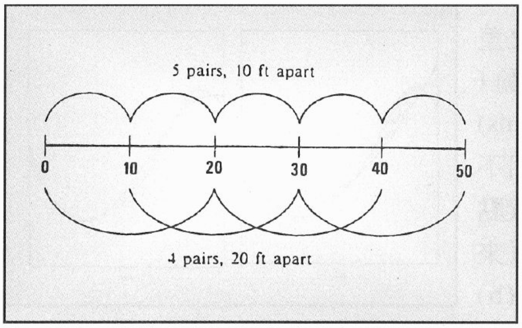
地理統計法的基本概念可敘述如下，即必須要有已知空間位置的某一土壤性質之觀測值，這些資料可由被排列成一條或多條截線路徑(Transect)或是網格(Grid)採樣之採樣結果得到。圖三表示6個觀測值的簡單例子，它們排列在同一條截線路徑上，彼此相距10公尺。首先，計算所有觀測值在相距10公尺的平均變異，其計算式如下：

$$\frac{(第一對數值之差異)^2+(第一對數值之差異)^2+......(第一對數值之差異)^2}{2\times(成對的數值數目)}$$

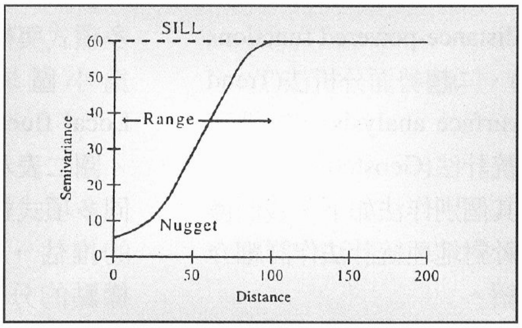
如此得到的計算值稱爲半變異量(Semivariance)。計算完各樣點相距10公尺的半變異量後，繼續計算20公尺，30公尺，40公尺等不同距離的半變異量。畫出以X軸爲距離，Y軸爲半變異量大小的圖形，並以曲線連接各點，如此表示的一張圖形稱爲半變異圖(Semivariogram)。

圖四表示理論模式上的半變異圖，可以反應出某一土壤性質與各採樣點距離的空間結構。Y軸上的截距稱爲碎塊效應值(Nugget)，直覺的觀察，當樣點距離爲零時，半變異量所反應的值應爲當時樣點與樣點本身之差異，其值應當是零值才對，不過事實上常會出現大於零的情況，這反應出在研究區域內其原有變異存在之距離，應比現有的所有採樣點的最小距離還要小才對，若重複在原採樣點相同位置進行採樣，仍有碎塊效應值發生，則可能是由於採樣測量的誤差所造成。當圖四曲線成水平時，對應的半變異量值稱爲半變異量門檻值(Sill)，門檻值之大小表示在研究區域內的土壤性質的總變異量之大小。若採樣觀測值距離大於門檻值對應下之距離時，則表示並不會再有變異量增加之現象。門檻值所對應下之距離稱爲距離範圍(Range)，在採樣距離小於距離範圍時，則會隨著採樣點彼此距離之增加而使其半變異量的值增加，一旦彼此採樣距離超過距離範圍時，則不再有半變異量的增加。(圖四)

在地理統計法的半變異圖研究中，可利用數學方程式求得其最佳模式，



圖三、相對距離10與相對距離20觀測點之配對數



圖四、應用地理統計之半變異圖

並對研究地區尙未採樣點之土壤性質加以推估的方法，稱爲克利金法(Kriging)。地理統計分析還可使用於空間不同方向的方向變異，即所謂的非等向性分析(Anisotropy analysis)。因此，使用地理統計法，除了能表現其具有的基本特性外，其對於土壤調查上更具有很大的應用。以下舉兩個例子用來說明如何使用地理統計方法，並應用於土壤調查上。

第一個例子是描述土壤繪圖單位下的土壤仍會有隨機變異的存在。在一個土壤圖中，裡面包含了一個中等深度(50-100cm)的土壤，與另一深度較深(100-150cm)的土壤。在傳統的土壤圖中，僅具描述不同深度土壤的土壤特徵，或是可能會在製作地圖時區分兩個不同深度土壤的地形差異，而它無法用於當我們想知道在某一定的距離下，其對應的土壤深度之範圍到底爲何。因此當我們得到一個採樣點，其土壤深度爲55cm時，是否能在其20公尺範圍內找出土壤深度會大於100cm的呢？或者非得在其100公尺外才能發現土壤深度高於100cm的呢？這問題可由半變異圖形之結果得到答案。假設圖四爲某一調查區域森林土壤深度的半變異圖，X軸的距離單位爲公尺，因此可以知道土壤深度的距離範圍值稍高於100公尺其最大土壤深度變化則會發生在採樣相對距離在100公尺以上的地方。明瞭某土壤性質的距離範圍值之後，就可知道該土壤性質的最大值、最小值與平均值，和其變異發生時之距離。

第二個例子是應用於森林土壤之截線路徑採樣點的分析上。大多數的土壤科學利用截線路徑方式來進行採樣，用以推估土壤繪圖單位下的土壤性質或其含量。某些土壤學者使用統計分析方法，去推估預測數值之信賴區間。雖然以信賴區間或變方分析法，在傳達土壤性質變化之訊息上十分有幫助，不過我們必須記住，這些統計方法的假設條件均是觀測值爲相互獨立且不互相影響之前提下。因此僅在觀測值的彼此相對距離大到超過半變異圖下的距離範圍(Range)時，才能符合這些條件。若觀測值的彼此距離小於距離範圍，則採樣點之土壤性質會有相關存在，推估值的信賴區間則會較窄。所以事先知道調查研究區域內某些重要土壤性質的距離範圍，可以幫助我們在截線路徑之採樣點分佈及距離之決定有幫助。

四、結　論

空間分析方法可被用來描述空間變異，幫助我們建立樣區性質與空間距離的彼此關係，這些資料對於需要研究空間區域時是相當有用的。空間分析方法也可以幫助我們在採樣時決定樣點的相距位置，這一點對於信賴區間而言，爲一重要考量因子。採樣點如過近，則信賴區間範圍會頃向過小，在調查採樣過程中若忽略這點，也會花過多的時間與精力在相類似的調查中。應用空間分析方法繪出研究區域的空間分佈，進而對研究區域進行評估與規劃，對於決策者而言更是一個相當有幫助的工具。